

○寺尾道仁, 関根秀久 (神奈川大・工)

1. はじめに ダクト系の音響シミュレーションは, そのインパルス応答を求め音質など聴感的チェックが可能な段階にきている。ただし, その実現には, その入力として送風機など音源の時系列波形が必要になる。そこで時系列信号処理による入射波音圧の実時間分離検出手法を開発し, その有効性を物理実験により確認する。

2. 進行波音圧波形の実時間検出手法

2.1 マイクロホン膜面圧と進行波音圧

Fig.1 に示すように, ダクト内の2断面*i*=1,2 にマイクロホンを挿入し, その膜面圧を $p_i^c(t)$, 断面*i*における音圧を $p_i(t)$, 入射波音圧を $a_i(t)$, 反射波音圧を $b_i(t)$, 気流変動圧を $v_i(t)$ により表す。この2断面間の音波の伝搬時間を δ (ここでは 1/2048s) とし, これを以下の信号処理のタイムステップにとる。

2.2 断面2の観測方程式 断面2において, 測定値 $y_2(t) = p_2^c(t)$, 信号項 $x_2(t) = p_2(t) = a_2(t) + b_2(t)$, 雑音項 $w_2(t) = v_2(t)$ とおけば, $y_2(t) = x_2(t) + w_2(t)$ の形に表され, $x_2(t)$ の最小二乗推定値 $\hat{x}_2(t)$ は,

$$\hat{x}_2(t) = y_2(t) / \{1 + (\sigma_{w_2} / \sigma_{x_2})^2\} \quad (1)$$

により与えられる[2]。ここで σ_{w_2} と σ_{x_2} はそれぞれ $w_2(t)$ と $x_2(t)$ の実効値 v_2^{eff} と p_2^{eff} , $\sigma_{x_2} / \sigma_{w_2}$ は音圧と気流変動圧の *S/N* である。信号項は

$$\hat{x}_2(t) = a_2(t) + b_2(t) \quad (2)$$

のように書き直される。

2.3 断面1の観測方程式 断面1においては, 測定値 $y_1(t) = p_1^c(t - \delta)$, 信号項 $x_1(t) = a_1(t - \delta) + b_1(t - \delta)$, 雑音項 $w_1(t) = v_1(t - \delta)$ とおけば, $x_1(t)$ の最小二乗推定値 $\hat{x}_1(t)$ は前項と同様に,

$$\hat{x}_1(t) = y_1(t) / \{1 + (\sigma_{w_1} / \sigma_{x_1})^2\} \quad (3)$$

により与えられ, $a_1(t - \delta) = a_2(t)$ および $b_1(t - \delta) = b_2(t - 2\delta)$ を考慮すれば信号項は

$$\hat{x}_1(t) = a_2(t) + b_2(t - 2\delta) \quad (4)$$

のように表される。

2.4 断面2の反射係数 断面2における $b_2(t)$ の近似値 $\tilde{b}_2(t)$ は, 反射係数 $r(\delta)$ により

$$\tilde{b}_2(t) = \sum_{\delta=0}^{N-1} r(\delta) a_2(t - \delta) \quad (5)$$

のように $a_2(t)$ と関係づけられる。反射係数の同定は, まず, 式(2)と式(4)との差, すなわち,

$$b_2(t) = \hat{x}_2(t) - \hat{x}_1(t) + b_2(t - 2\delta) \quad (6)$$

をとり, 次に, これと式(5)との誤差

$$\varepsilon(t) = b_2(t) - \tilde{b}_2(t) \quad (7)$$

に対する LMS 手法により $r(\delta)$ の更新値 $\hat{r}(\delta)$ を

$$\hat{r}(\delta) = r(\delta) + 2\mu\varepsilon(t)a_2(t - \delta), \quad \delta = 0, 1, 2, \dots, N-1 \quad (8)$$

のようにして求めた。ここで, $N = 1024$, また, 加速係数 $\varepsilon(t)$ は初期値 0.001 として 200,000 ステップ当たり 1 桁の割合で低減させた。

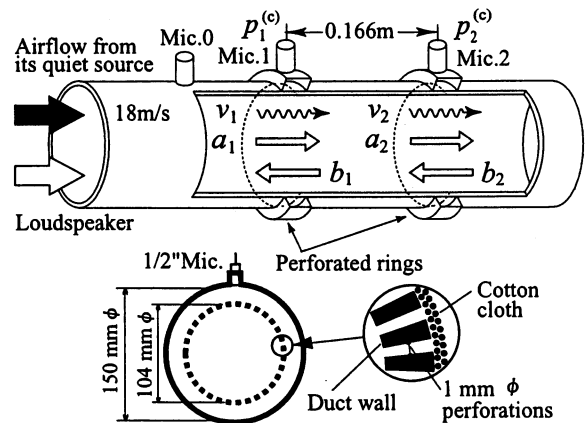


Fig. 1 Pressures exerting on microphone diaphragms in a airflow duct

* A two-microphone method for real-time extraction of traveling wave pressure in a duct location. By M. Terao and H. Sekine (Kanagawa university).

3. 実験方法 低騒音送風源に直管(丸断面, 内径 104mm) を接続し, $\delta=1/2048s$ として実験を行った。ただし, 信号処理は DSP 実装ではなく PC 上で行った。マイクロホン 1 と 2 は Fig.1 に示すような多孔圧力導通リングを介して挿入した。また, ダクト断面 0 において(ダクト壁面とマイクロホン膜面を一致させて)S/N を測定した。Fig.2 はダクト内平均気流速度 18m/s, S/N=10dB の場合の開始後 950,000 ステップ経過時の検出結果である。ここで気流変動圧の真値はスピーカからの音響信号 OFF としたときのマイクロホン出力, 反射係数の真値は 4 マイクロホン手法[1]による値である。気流変動圧が無視される音圧信号波形として S/N=25dB 時のマイクロホン出力を測定した。S/N=25-L (dB) 時はスピーカへの入力信号を S/N=25dB 時にたいし LdB だけ低減して行い, そのときの音圧波形(真値)は S/N=25dB 時のそれから LdB だけ差引いたものとしている。

4. 実験結果 S/N=10dB における反射係数および進行波音圧波形の検出例を Fig. 2 に示す。進行波音圧の分離検出は概ね良好といえる。反射係数の検出は約 600Hz 以下では良好であるが, それを超えると誤差が大きくなる。以上は S/N の低下にともない誤差が増加する。

Fig.3 に多孔リングの気流変動圧低減性能を示す。マイクロホン直接挿入にたいし多孔リングでは音圧低下を生じるので, その低下分だけ補正した。直接測定に対し多孔リングによる気流変動圧低減効果は約 7dB 程度である。これは期待した性能には程遠い。マイクロホン膜面圧がその近傍の開口の圧力に支配されてしまったものと考えられ, その改良を行っている。

5. 終わりに 2 マイクロホンを用いて反射係数と進行波音圧を実時間検出する手法を案出し, その原理的な有効性を確認した。

参考文献

- [1] M. Terao, H. Sekine, Inter-noise89, pp143-146, 1989.
- [2] 有本卓, カルマンフィルタ, 産業図書, p.58, 1977.

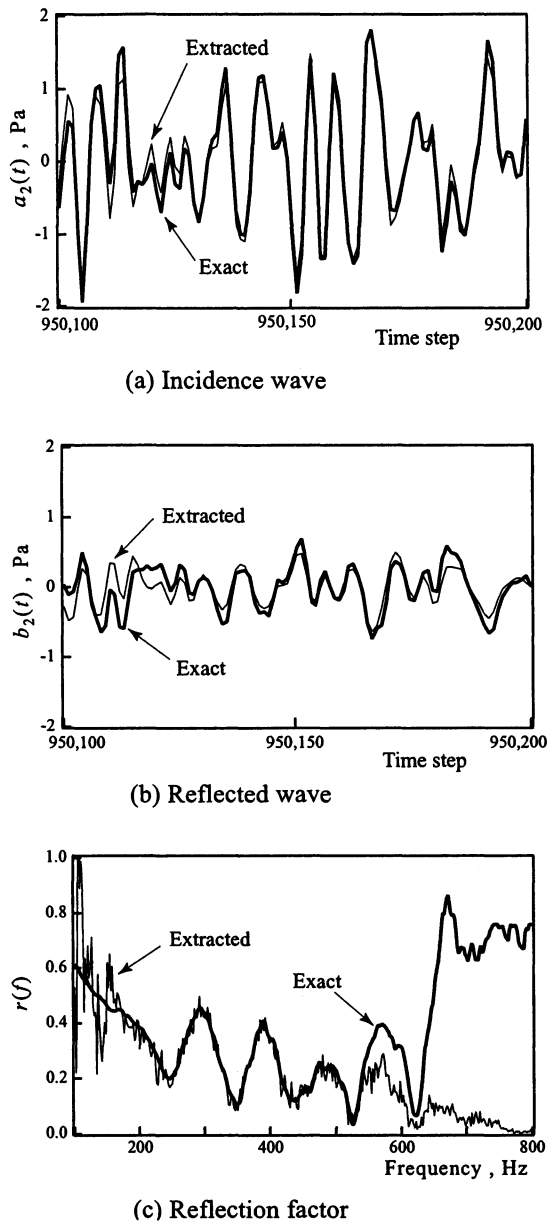


Fig. 2 Experimental results for S/N=10dB and for mean airflow velocity of 18 m/s.

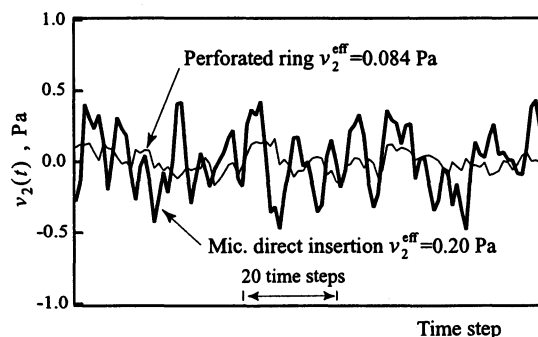


Fig. 3 Suppression of flow induced pressure by a perforated ring.